Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 683-696

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۶۹۶-۶۸۳

اثر کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین بر صفات فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و عملکرد گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum*) در شرایط بدون تنش

مریم تاتاری[1]* – رضا عباسی علی کمر[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۱/۲۶

چکیده

به منظور بررسی اثرات کاربرد گلایسین‌بتائین بر گوجه‌فرنگی در سال ۱۳۹۴ در مزرعه‌ای واقع در مشهد، آزمایشی دو عاملی (عامل اول مقدار محلول‌پاشی در سه سطح (صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار) و عامل دوم زمان محلول‌پاشی (زمان کشت، شروع گلدهی و شروع میوه‌دهی)) به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این آزمایش محتوای نسبی آب برگ، سطح برگ، نشت الکترولیت، عدد SPAD، طول دوره رشد رویشی و زایشی، عملکرد و اجزای عملکرد گیاه گوجه‌فرنگی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از نشت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی در کلیه تیمارها نشان داد که گیاهان به لحاظ رطوبتی در تنش قرار نداشتند. کاربرد گلایسین‌بتائین در زمان کاشت، سبب افزایش دوره رشد رویشی و کاهش دوره رشد زایشی گیاه شد. کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین در زمان کشت، منجر به افزایش سطح برگ، وزن خشک و عدد SPAD شد. بیشترین تعداد کل میوه (۴۲/۵ عدد) در تیمار کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین در زمان کاشت و بیشترین وزن میوه (۱۱۳/۱ گرم) در تیمار شاهد به‌دست آمد. بیشترین میزان عملکرد در تیمار عدم مصرف گلایسین‌بتائین (۷۴ تن در هکتار) مشاهده شد. سه و شش کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین، عملکرد را به‌ترتیب ۱۵ و ۳۰ درصد کاهش داد، اما با توجه به افزایش طوره دوره رشد رویشی و افزایش تعداد میوه‌های سبز در تیمار سه کیلوگرم در هکتار، احتمالاً مصرف گلایسین‌بتائین در دوزهای پایین در زمانی تأثیر مثبت خواهد داشت که طول دوره رشدی محدودکننده نباشد. همچنین به نظر می‌رسد کاربرد دوزهای بالای گلایسین‌بتائین در شرایطی که تنش جدی گیاه را تهدید نمی‌کند، سبب بروز اثرات سمی و کاهش عملکرد محصول گوجه‌فرنگی گردید.

واژه‌های کلیدی: اسیدآمینه، اثرات سمی، نشت الکترولیت، محتوای نسبی آب

مقدمه

گلایسین‌بتائین[3] جزء ترکیباتی با عنوان کلی "محلول‌های سازگار[4]" طبقه‌بندی می‌شوند که شامل متابولیت‌های آلی کوچکی هستند که قابلیت حل‌شوندگی بالایی در آب دارند و در افزایش مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی نقش مؤثری را ایفا می‌کنند (Chen and Murata, 2008) این مولکول‌ها با حفظ آب درون سلول، به آنها کمک می‌کنند تا فعالیت‌های حیاتی خود را ادامه دهند (Park *et al*., 2006). گلایسین‌بتائین به‌عنوان یک اسمولیت سازگارکننده نقش مهمی در تنظیم اسمزی درون سلولی، پایدار کردن ساختار پروتئین‌ها و غشای سلولی، حذف کردن گونه‌های اکسیژن رادیکال (ROS[5]) تنظیم pHسلولی و واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ایفا می‌کند (de la Torre-Gonzales *et al*., 2017; Murata *et al*., 1992). گونه‌های اکسیژن رادیکال، در طی تولید متابولیت‌های مختلف در گیاهان، حتی در شرایط غیر تنش، تولید می‌شوند و به‌عنوان یک ماده مضر برای گیاه، توسط انواع مختلفی از آنتی‌اکسیدانت‌ها پاک‌سازی می‌شوند. گرچه استعمال خارجی گلایسین‌بتائین در گوجه‌فرنگی مستقیماً در جذب اکسیژن رادیکال نقشی ندارد اما از طریق فعال کردن آنزیم‌های پاک‌کننده اکسیژن

۱- دکترای فیزیولوژی گیاهان زراعی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان، ایران
۲- دکترای اگرواکولوژی و مدرس دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیروان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: maryamtatari@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i3.71161
3- Glysine betaine
4- Compatible solute
5- Reactive Oxygen Species

فعال، به‌طور چشم‌گیری در کاهش خسارت تنش سرما مؤثر بوده است (Park *et al.*, 2006). لذا در شرایط تنش، وجود گلایسین‌بتائین در گیاه به‌طور معنی‌داری مقاومت گوجه‌فرنگی به تنش سرما را افزایش داده و گیاهچه، گیاه، گل و میوه را از خطر سرمازدگی محافظت می‌کند (Park *et al.*, 2004).

در بسیاری از گیاهان، غلظت طبیعی گلایسین‌بتائین پایین تر از حدی است که بتواند بر تأثیرات شدید پسابیدگی ناشی از تنش‌های مختلف محیطی (شامل شوری، خشکی، گرما و اشعه ماورای بنفش) فائق آید (Yancey, 1994; Subbarao *et al*., 2001). برای افزایش غلظت این ماده در گیاه دو روش وجود دارد: دستکاری ژنتیکی که آنزیم‌های تولیدکننده گلایسین‌بتائین را فعال می‌کند و کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین از طریق اسپری برگی که پس از ورود به سیتوسول گیاه، طی یک روز در گیاه پخش شده و در اندام‌های دارای مریستم (مانند مریستم انتهایی و گل آذین) تجمع می‌یابد (Chen and Murata, 2008).

کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین به گیاهانی که این ماده را در غلظت‌های کم تولید می‌کنند و یا به‌طور کلی فاقد توانایی تولید این ترکیب می‌باشند (مثل گونه‌های خانواده Solanaceae)، در کاهش اثرات و خسارت تنش‌های محیطی مفید می‌باشد (Makela *et al.*, 1998; Yang and Lu, 2005). از آنجا که گلایسین‌بتائین که به‌طور طبیعی تولید شده، در گیاه تجزیه نشده و از بین نمی‌رود (Foolad, 2000)، به سادگی می‌توان آن را به‌عنوان یک فرآورده فرعی ارزان قیمت از گیاهانی که این ماده را در غلظت‌های بالا تولید می‌کنند، مثل چغندرقند (*Beta vulgaris*) جداسازی نمود (Oritz-Lopez *et al.*, 2000). این مسأله سبب می‌شود که کاربرد خارجی گلایسین‌بتائینیک روش اقتصادی برای خنثی‌سازی اثرات مخرب تنش‌های محیطی بر عملکرد گیاه در نظر گرفته شود. مطالعات نشان داده‌اند که در گیاهانی مثل تنباکو (*Nicotiana tabacum*)، گندم (*Triticum aestivum*)، جو (*Hordeum vulgare*)، سورگوم (*Sorghum bicolor*)، سویا (*Glycine max*) و لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris*) که تحت شرایط خشکی رشد کرده بودند، مصرف خارجی گلایسین‌بتائین تأثیر معنی‌داری بر کاهش تنش‌های محیطی و افزایش عملکرد داشته است (Ashraf and Foolad, 2007; Lutts, 2000). همچنین مطالعاتی در مورد نقش و امکان استفاده از گلایسین‌بتائین در تخفیف اثرات تنش‌های سرما (Somersalo *et al*., 1996) و یا گرما (Makela *et al*., 1998) نیز انجام گرفته است. اما در مورد نقش آن در شرایط عدم تنش تاکنون کمتر کاری صورت گرفته است.

در تولید محصولات زراعی سعی می‌شود تنش‌های محیطی در طی فصل رشد با اعمال مدیریت‌هایی نظیر آبیاری، تغییر تراکم و تاریخ کشت، تغذیه مناسب و اصلاح گیاهان مقاوم، به کمترین حد ممکن برسد. اما در شرایط واقعی، اثرگذاری این تنش‌ها، هرچند به مقدار اندک، اجتناب‌ناپذیر است. شوری آب آبیاری، کاهش پتانسیل اسمزی خاک (در فواصل بین دو آبیاری)، تنش گرمایی میانه روز و اثرات تنش‌زای سمپاشی و کودپاشی از نمونه‌های تأثیرات منفی تنش‌های محیطی می‌باشند که گاهی با شیوه‌های مدیریتی تشدید نیز می‌شوند. برخی مطالعات سعی داشته‌اند تا اثرات گلایسین‌بتائین را در شرایط عدم تنش مورد مطالعه قرار دهند.

برخی مطالعات بر روی گیاه اربیدوپسیس (*Arabidopsis thaliana*) نشان دادند که در شرایط بدون تنش، مراحل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه تحت تأثیر حضور یا عدم حضور گلایسین‌بتائین قرار نمی‌گیرد. اما گونه‌هایی که با دست‌کاری ژنتیکی قابلیت تولید گلایسین‌بتائین را پیدا کرده بودند درشرایط بدون تنش ۲۲ درصد گل بیشتر و ۲۸ درصد دانه بیشتر تولید کرده بودند (Hsieh *et al.*, 2002).

در مقایسه ارقام وحشی گوجه‌فرنگی با ارقام دست‌کاری شده ژنتیکی[1] (که قابلیت تولید گلایسین‌بتائین به آنها القا شده بود)، در شرایط بدون تنش، اختلاف معنی‌داری در دوره پیش از گلدهی مشاهده نشد (Park *et al.*, 2007)، اما در گیاهان حاوی گلایسین‌بتائین اندازه غنچه‌ها، گل‌ها و سایر اجزای گل آذین به‌طور معنی‌داری بزرگتر بود. تعداد میوه‌های رسیده در ارقام دارای گلایسین‌بتائین به‌طور معنی‌داری بیشتر از ارقام وحشی بودند. همچنین اندازه میوه‌های رسیده در حضور گلایسین‌بتائین و در شرایط بدون تنش به‌طور معنی‌داری بزرگتر بود و وزن میوه‌های رسیده در این گیاهان به‌طور میانگین ۵۴٪ سنگین‌تر از ارقام وحشی بدون گلایسین‌بتائین بود (Park*et al.*, 2007).

این آزمایش با هدف امکان استفاده از گلایسین‌بتائین به‌صورت کاربرد خارجی در گیاه گوجه‌فرنگی صورت گرفت و هدف این بود که میزان تأثیر آن بر کاهش اثرات تنش‌های جزئی محیطی بررسی گردد و تغییرات عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط مزرعه‌ای عادی ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

آزمایش در مزرعه شرکت فاروج خرم توس واقع در ۱۰کیلومتری جاده فریمان- مشهد طی سال زراعی ۱۳۹۴با مختصات ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۶درجه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر به‌صورت دو عاملی در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار انجام گرفت. عوامل آزمایش، شامل عامل اول مقادیر مختلف اسیدآمینه گلایسین‌بتائین در سه سطح صفر،

1- codA-transgenic

سه و شش کیلوگرم در هکتار (Makela *et al*., 1995) و عامـل دوم زمان محلول‌پاشی در سه سطح اعمال گلایسین‌بتائین در زمان کشـت نشا، شروع گلدهی (۱۰ درصد گلدهی) و شروع میوه‌دهـی (۱۰ درصـد میوه‌دهی) بود. صفر، سه و شش کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین بـا ۲۰۰ لیتر در هکتـار در آب محلـول شـده و محلـول‌پاشـی بـه‌وسـیله سمپاش پشتی در هر کرت در ساعات غروب آفتاب و خنکـی هـوا، در شرایط بدون باد انجام گرفت.

نشاهای بذر گوجه‌فرنگی، رقم استاندارد خرم در سینی‌های کشت نشاء ۲۴ تایی که با مخلوطی از پیت مـاس و کوکوپیـت و پرلیـت پـر شده بودند، در شرایط گلخانه کشت شدند. دمـای متوسـط گلخانـه در روز و شب به‌ترتیب ۲۵ و ۱۷درجه سانتی‌گراد بـود. نشـاها در مرحلـه چهار تا شش برگ حقیقی و بعد از ۳۱ روز (۲۱ خـرداد) نگهـداری در گلخانه زمین اصلی منتقل شدند.

عملیات خاک‌ورزی شامل شخم نیمه‌عمیق بهاره و دیسـک بـود. پیش از نشاکاری بر اساس آزمون خاک از کودهای نیتروژن، فسـفر و پتاسیم به مقدار ۱۲۰، ۱۵۰ و ۶۰ کیلوگرم در هکتار به‌صورت اسـتفاده گردید. بافت خاک نیمه‌سنگین (لوم سیلتی رسـی)، بـدون محـدودیت شوری و pH خاک ۷/۸ بود.

جهت جلوگیری از هدررفت آب و کنترل علف‌های هـرز، مـالچ از نوع پلاستیک مشکی و به عرض ۸۰ سـانتی‌متـر بـر روی ردیـف‌هـا کشیده شد. آبیاری به‌صورت قطره‌ای و بـا اسـتفاده از T-tape انجـام گرفت. کشت به‌صورت دستی بـا احتسـاب تـراکم ۳۰ هـزار بوتـه در هکتار، با فاصله ۴۵ سانتی‌متر در دو سوی نوار آبیاری صورت گرفـت. کرت‌های آزمایش شامل سه ردیف با طول شـش متـر و فاصـله بـین ردیف‌ها دو متر بوده و بین تکرارها نیز فاصله دو متری قرار داشت. هر کــرت بـــه دو قســـمت تقســـیم شـــد و از قســـمت اول بـــرای یادداشت‌برداری‌های طول فصل رشد و از قسـمت دوم جهـت تعیـین عملکرد استفاده گردید. از دو انتهـای کـرت نـیم متـر بـه‌عنـوان اثـر حاشیه‌ای حذف شدند. در طی فصل رشد برای کلیه تیمارها، تغذیه بـا کودهای میکرو و ماکرو و نیز مبارزه با آفات و بیمـاری‌هـا بـه‌صـورت مشابه انجام گرفت.

تاریخ انتقال نشا به زمین اصلی ۲۱ خرداد ماه بـود. بـرای تعیـین زمان برداشت با استفاده از پیش‌بینی‌هـای هواشناسـی، پـیش از بـروز اولین یخبندان زمستانه، برداشت‌ها ۱۰ مهرمـاه انجـام گرفـت. از هـر کرت پنج بوته به‌صورت تصادفی برای تعیین مراحل فنولوژیکی گیـاه انتخاب شد و تاریخ گلدهی (ظهور همزمان حداقل پـنج گـل بـر روی بوته) و رسیدگی اولین میوه‌هـا (مشـاهده حـداقل سـه میـوه در حـال رنگ‌گیری) نیز یادداشت‌برداری شد. در زمان برداشت تمام میوه‌هـای رسیده و نارس برداشت و به تفکیک توزین و شمارش شدند. بر اساس درصد رنگ‌گیری، مقدار رسیدگی میوه گوجـه‌فرنگـی از مرحلـه صـفر (میوه نابالغ و نارس) تا شش (میوه کاملاً رسـیده) متغیـر اسـت. کلیـه میوه‌ها از مرحله صفر تا سه به‌عنوان میوه نارس در نظـر گرفتـه شـد (Klee, 1993).

برای اندازه‌گیری میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC)[1] ابتـدا ۱۰ عدد دیسک به قطر ۰/۵ سانتی‌متر از پهنـک بـرگ بـالغ و جـوان (سومین برگ جوان از ساقه اصلی) به‌وسیله پانچ گرفته شـد و سـپس وزن شدند (وزن تر:FW). سپس نمونه‌ها داخل شیشه‌های حـاوی ۱۰ میلـی‌لیتـر آب مقطـر بـه مـدت چهـار سـاعت در دمـای ۴-۰ درجـه سلسیوس در تاریکی قرار داده شدند تا سـلول‌هـای بـرگ بـه حالـت تورژسانس کامل درآیند. بعد آن‌ها را بر روی کاغذ صافی قرار داده تـا رطوبت اضافی آن‌هـا گرفتـه شـود. سـپس آن‌هـا را وزن کـرده (وزن آمـاس: TW) و پـس از آن نمونـه‌هـا در آون بـا دمـای ۷۰ درجـه سلسیوس خشک شدند و وزن خشک دیسک‌هـا (وزن خشـک: DW) اندازه‌گیری شد. محتوی نسبی آب برگ با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد.

$$RWC = [(FW - DW) / (TW - DW)] \times 100 \qquad (۱)$$

جهت تعیین پایداری غشـا سـلول‌هـای برگـی از شـاخص نشـت الکترولیت استفاده گردید. در این روش ابتدا قطعات برگی با انـدازه دو سانتی‌متر تهیه شد. این قطعات پس از شستشو همراه با ۱۰ میلی‌لیتـر آب مقطر در لوله‌های آزمایش قرار گرفتند. سپس لوله‌های آزمایش به مدت ۱۷ تا ۱۸ ساعت به‌وسیله شیکر (۱۶۰ دور در دقیقه) تکـان داده شدند. در این مرحله مقدار هدایت الکتریکی نمونه‌های آزمـایش (E1) به‌وسیله دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. سپس لوله‌های آزمـایش جهت کشته شدن سلول‌های برگی به اتـوکلاو بـا دمـای ۱۲۱ درجـه سانتی‌گراد، با فشار ۱/۲ بار به مدت ۱۵ دقیقه انتقال داده شدند. بدین طریق اندازه‌گیری هدایت الکتریکی در این مرحلـه نیـز پـس از سـرد شدن محتویات داخل لوله‌های آزمایش انجام پذیرفت (E2). درنهایـت مقادیر نشت الکترولیت‌ها در زمـان برداشـت بـا اسـتفاده از معادلـه ۲ محاسبه گردید.

$$EL= (E1/E2) \times 100 \qquad (۲)$$

برای اندازه‌گیری عدد SPAD سـه بـرگ همسـان (جـوان‌تـرین بـرگ کـاملاً توسعه‌یافتـه) روی ســه بوتــه انتخــاب و محتــوای نسـبی کلروفیـل آنها توسط دستگاه Mintola Japan, 502-SPAD قرائت شد. اندازه‌گیری شاخص سـطح بـرگ بـا اسـتفاده از دسـتگاه اندازه‌گیری سطح برگ در زمان برداشت انجام شد. وزن خشـک کـل بوته نیز در پایان آزمایش اندازه‌گیری شد.

در این آزمایش صفاتی شامل عملکـرد و اجـزای عملکـرد شـامل

1- Relative Water Content: RWC

عملکرد میوه در کرت، تعداد میوه در بوته و وزن میوه‌ها انـدازه‌گیـری شد. برای آنالیز واریانس از نرم‌افزار MSTAT-C و آزمـون دانکـن در سطح ۵٪ و برای رسم شکل‌ها از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

اثرات زمـان مصـرف گلایسـین‌بتـائین بـر عـدد SPAD، نشـت الکترولیت‌ها و محتوای آب نسبی بـرگ غیرمعنـی‌دار بـود. همچنـین مقدار مصرف گلایسین‌بتائین بر نشـت الکترولیـت‌هـا و محتـوای آب نسبی اثر معنی‌داری نداشـت. اثـرات متقابـل زمـان و مقـدار مصـرف گلایسین‌بتائین بر نشـت الکترولیـت‌هـا و محتـوای آب نسـبی بـرگ غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). برخی مطالعات حاکی از آن است محتوای آب نسبی برگ، نشت الکترولیت و عدد SPAD می‌توانند شاخص‌های فیزیولوژیکی قابل اطمینانی برای مطالعه گیاهان تحـت تـنش باشـند (Moosavifar *et al.*, 2012). معمولاً در شرایط بـروز تـنش مقـادیر این سه پارامتر تغییر می‌کند، از آنجا که محتـوای آب نسـبی بـرگ و نشت الکترولیت‌ها تحت تأثیر هیچ‌یک از اثرات سـاده و متقابـل قـرار نگرفت، احتمالاً می‌توان نتیجه گرفت که شرایط آبیاری این آزمـایش در فراهم نمودن شرایط عاری از تنش آبی موفـق عمـل کـرده اسـت (Teixeira *et al.*, 2017). بالا بودن محتوای نسبی آب برگ (بـیش از ۸۵٪) در کلیه تیمارها و مقدار ناچیز نشت الکترولیت‌هـا مؤیـد ایـن مطلب بود و هیچ‌یک از اثرات ساده و متقابل، معنی‌دار نبودنـد. برخـی مطالعات بر روی گیاهان تحت تنش، نشان‌دهنده تأثیر گلایسین‌بتائین بـر روی بهبـود فتوسـنتز و محتـوای آب نسـبی و کـاهش نشـت الکترولیت‌ها از برگ می‌باشند (Subbarao *et al.*, 2001). در بررسی انجـام گرفتـه در شـرایط تـنش خشـکی بـر روی گیـاه ذرت، گلایسین‌بتائین خارجی رشـد را بهبـود بخشـیده، محتـوای آب بـرگ، فتوسنتز خالص و عملکرد کوانتومی فتوسنتز را در گیاهان تحت تـنش شوری افزایش داده و موجب کاهش نشت الکترولیت‌ها شـد، بـا ایـن وجود، کاربرد گلایسین‌بتائین حداکثر کارایی فتوشیمایی فتوسیستم دو (Fv/Fm) را تحت تأثیر قرار نداد (Yang and Lu, 2005).

اثر بر مراحل فنولوژیک

کاربرد گلایسین‌بتائین در زمان کاشت (انتقال نشا)، سبب افزایش دوره رشد رویشی گیاه گوجه‌فرنگی شده و گلدهی در این تیمار حـدود شش روز نسبت به تیمار کاربرد آن در زمان گلدهی یا میـوه‌دهـی بـه تعویق افتاد. علاوه بر این کاربرد گلایسین‌بتائین در زمـان میـوه‌دهـی نسبت به زمان کاشت، موجب کاهش دوره رشد زایشی گیاه به مـدت شش روز شد (جدول ۲).در آزمایشی بـا اسـتفاده از گلایسـین دو بـار نشان دار شده[1] بر روی نشای گوجه‌فرنگی، مشخص شد که این گیـاه قادر است این اسید آمینه را از خاک و برگ جـذب کـرده و بـه‌عنـوان منبع نیتروژن مورد اسـتفاده قـرار دهـد (Ge *et al.*, 2009) بـه ایـن ترتیب می‌توان عنوان نمود که گلایسین‌بتائین بر رشد رویشی گیاه اثر مثبت و بر رشد زایشی تأثیر منفی داشته است. با توجه به نقش کاملاً تأییدشده نیتروژن در تقویت رشد رویشی و به تعویـق انـداختن رشـد زایشی، ممکن است بتوان نتایج حاصل از این پژوهش را نیز به اثرات نیتروژن بر فنولوژی گیاه و تحریک رشد رویشـی نسـبت داد (Oritz-Lopez *et al.*, 2000; Dakora and Phillips, 2002). عـلاوه بـر این مشخص شده است که اثرات محلول‌پاشی برگی گلایسین‌بتـائین می‌تواند در گیاهان به مدت طـولانی بـاقی مانـده و در گیـاه تجزیـه نمی‌شود و از این نظـر نیـز اثراتـی مشـابه بـا نیتـروژن در گیـاه دارد (Makela *et al.*, 1996).

تیمار مقدار مصرف گلایسین‌بتائین بر طول دوره رشد رویشی گیاه اثر قابـل ملاحظـه‌ای نداشـته اسـت، امـا دوره رشـد زایشـی گیـاه را طولانی‌تر کرده است به‌طوری‌که مصـرف ۳ و ۶ کیلـوگرم در هکتـار گلایسین‌بتائین ۱۰ روز دوره گلدهی تا رسیدگی را طـولانی‌تـر کـرده است (جدول ۳). نکته‌ای که در طی آزمایش مشاهده گردید ایـن بـود که مصرف گلایسین‌بتائین در زمان گلدهی خصوصاً در مقـدار شـش کیلوگرم در هکتار سبب عدم تلقیح گل‌هـای اولیـه و ریـزش گـل‌هـا گردید، که متأسفانه برای این مورد آماری یادداشـت‌بـرداری نگردیـد. بنابراین احتمالاً افزایش دوره رشد زایشی به دلیل سقط گل‌های اولیه بوده است. به این ترتیب که سقط گل‌های اولیـه، ثبـت دوره گلـدهی (ظهور حداقل پنج گل همزمان بر روی گیاه) را به تعویق انداخت. بـه نظر می‌رسد که گلایسین‌بتائین خصوصاً در دوزهای بالاتر اثرات سمی بر روی گلدهی گیاه دارد (Ashraf and Foolad, 2007; Murata*et al.*, 1992).

نتایج اثرات ساده زمان و مقدار مصرف گلایسـین‌بتـائین بـر روی فنولوژی گیاه، توسط اثرات متقابل نیز تأیید مـی‌شـود. طـولانی‌تـرین دوره رشـــد رویشـــی در تیمـــار مصـــرف ۶ کیلـــوگرم در هکتـــار گلایسین‌بتائین در زمان کاشت (۳۳/۸ روز) و طولانی‌ترین طـول دوره رشد زایشی در تیمار مصرف ۶ کیلوگرم در هکتار گلایسـین‌بتـائین در زمان گلدهی (۴۲ روز) مشاهده شد.

اثر برخصوصیات فیزیولوژیک

بیشترین مقدار سطح برگ در بوته (۱۴۶۴/۴سـانتی‌مترمربـع) و از کاربرد گلایسین‌بتائین در زمان کاشت به‌دست آمد (جدول ۲). افزایش طول دوره رویشی، کـه در نتیجـه کـاربرد گلایسـین‌بتـائین در زمـان

1- Dual labeled (C^{13} N^{15})

کاشت ایجاد شد، می‌تواند سبب تولید سطح برگ بیشتر و دوام سطح برگ طولانی‌تر باشد. برخی تحقیقات حاکی از آن است که گیاهان با کاربرد آمینواسید قادر خواهند بود تا عناصرغذایی بیشتری از محیط ریشه جذب کنند که توسعه سطح برگ را به دنبال دارد (Dakora and Phillips, 2002). همچنین آمینواسید باعث تسهیل انتقال عناصرغذایی در سیستم آوندی از طریق بهبود نفوذپذیری غشای سلولی می‌شود (Cerdan, 2008). با توجه به این تغییرات در گیاه و بهبود کارایی جذب نیتروژن از خاک و درنتیجه کاهش هدرروی نیتروژن (Liu *et al*., 2007; Murata *et al*., 1992)، به نظر می‌رسد با افزایش کارایی این عنصر در فرآیند فتوسنتز و تولید سطح سبز، زمینه لازم برای توسعه ریشه و درنتیجه افزایش رشد سطح برگ و افزایش طول دوره رشد رویشی گیاه مهیا می‌باشد و گیاه در این دوره می‌تواند اقدام به تجمع ماده خشک کند. نتایج حاصل از این تحقیق نیز نشان داد بیشترین وزن خشک بوته (۱۲۱۱ گرم در متر مربع) در همین تیمار زمان کاشت بوده است (جدول ۲). در تحقیقی بر روی ذرت مشخص شد که گلایسین‌بتائین قادر به افزایش فتوسنتز و سطح سبز گیاه در شرایط شور و غیر شور می باشد (Yang and Lu, 2005).

در بررسی عامل مقدار مصرف گلایسین‌بتائین، بیشترین سطح برگ (۱۳۷۰ سانتی‌متر مربع)، عدد SPAD (۴۵/۳) و وزن خشک بوته (۱۲۰۶ گرم در متر مربع) در تیمار سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین مشاهده شد (جدول ۳). اثر مثبت گلایسین بر افزایش مقدار کلروفیل در آزمایشات زیادی ثبت شده است. در بررسی اثر گلایسین‌بتائین بر روی ذرت (Miri and Zamani Moghadam, 2015) اثر پرولین و گلایسین‌بتائین بر روی انگور (Mohammadzamani *et al*., 2012) و گلوتاتیون و گلایسین بر گوجه‌فرنگی (Zhou *et al*., 2017) مشخص شد که این اسید آمینه قادر به افزایش سطح برگ، میزان کلروفیل و شاخص‌های آنتی‌اکسیدانتی در گیاه می‌باشد. بالا رفتن سطح برگ و میزان کلروفیل و به تبع آن میزان فتوسنتز و نیز افزایش دوره رشد رویشی گیاه احتمالاً سبب افزایش وزن خشک گیاه شد.

اثر بر عملکرد و اجزای عملکرد

اثر زمان مصرف گلایسین‌بتائین بر عملکرد و وزن میوه‌ها غیرمعنی‌دار بود (جدول ۱). بررسی اثر ساده زمان مصرف بر تعداد میوه رسیده و تعداد کل میوه‌ها، نشان داد که هر چند کاربرد اسیدآمینه در زمان کاشت، تعداد کل میوه را افزایش داده است، ولی نسبت میوه‌های نارس به کل میوه افزایش یافت، به‌طوری‌که در تیمار مصرف گلایسین‌بتائین در زمان کاشت و میوه‌دهی ۲۷٪ میوه‌ها نارس باقی ماندند و این امر احتمالاً تا حدودی اثر مثبت افزایش تعداد میوه را از بین برده است (جدول ۲). شاید بتوان نتیجه گرفت اگر زمان کافی برای رسیدگی میوه در منطقه موجود باشد، ممکن است کاربرد گلایسین‌بتائین در زمان کاشت بتواند موجب افزایش عملکرد از طریق تأثیر بر تعداد میوه شود.

مقدار مصرف گلایسین‌بتائین هم وزن و هم تعداد میوه را به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار داد (جدول ۱). بیشترین تعداد میوه رسیده در تیمار بدون مصرف گلایسین‌بتائین به‌دست آمد. ولی از نظر تعداد کل میوه اختلافی بین تیمار عدم مصرف و ۳ کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین وجود نداشت. تعداد میوه رسیده، میوه نارس و کل تعداد میوه در تیمار ۶ کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین نسبت به دو تیمار دیگر در کمترین مقدار بود. در تیمار عدم مصرف ۲۲ درصد، در تیمار ۳ کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین ۴۴ درصد و در تیمار ۶ کیلوگرم در هکتار ۴۴ درصد میوه‌ها در زمان برداشت نارس بودند (جدول ۳). همان‌طور که پیش از این نیز در بحث فنولوژی مشخص گردید، به نظر می‌رسد که گلایسین‌بتائین دوره رشد رویشی گیاه را تحریک کرده است، این امر می‌تواند به دلیل تأثیر گلایسین‌بتائین بر تخفیف تنش‌های محیطی احتمالی، که به‌طور طبیعی در طی فصل رشد رخ می‌دهند (Ashraf and Foolad, 2007; Sulpice *et al*., 2002) و یا به دلیل افزایش مقدار نیتروژن در گیاه باشد (Zhou *et al*., 2017; Mohammadzamani *et al*., 2012). اما از سوی دیگر کاهش معنی‌دار تعداد میوه (نارس و رسیده) با افزایش مقدار مصرف گلایسین‌بتائین از سه کیلوگرم به شش کیلوگرم، می‌تواند مؤید این مطلب باشد که احتمالاً دوز بالای مصرف این ماده می‌تواند اثرات سمی ایجاد کرده و موجب گل‌ریزی شود (جدول ۳). نتایج به‌دست آمده از برخی تحقیقات نشان می‌دهد که گلایسین‌بتائین در دوزهای بالا ممکن است بدون تأثیر بوده و یا حتی سمی باشد (Uosukainen *et al*., 1999). به‌عنوان مثال، کاربرد گلایسین‌بتائین به‌صورت محلول‌پاشی بر گیاه شلغم (*Brassica rapa*)، کلزا (*Brasica napus*) و برخی از غلات بهاره رشد آنها را در تنش خشکی بهبود نبخشید (Makela *et al*., 1996). در بررسی کاربرد گلایسین‌بتائین در شرایط عاری از تنش در گیاه پنبه در زمان گل‌دهی و در غلظت‌های بالا (شش کیلوگرم در هکتار) گل‌ریزی مشاهده شد (Makhdum and Shababuddin, 2006). نیز کاربرد برگی گلایسین‌بتائین اجزای عملکرد و فرآیندهای فیزیولوژیک و همچنین مقدار داخلی گلایسین‌بتائین را درگیاهان پنبه تغییر نداد (Meek *et al*., 2003). این اثرات متضاد ممکن است به دلیل شرایط آزمایش و یا اختلاف بین گونه‌ها و ژنوتیپ‌های مورد آزمایش در واکنش به کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین ایجاد شده باشد (Ashraf and Foolad, 2007).

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گوجه‌فرنگی

Table 1- Variance analysis (Mean of Squares) of physiological and phenological traits of tomato

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی d. f	وزن خشک Dry Weight	سطح برگ Leaf Area	عدد اسپد SPAD No	نشت الکترولیت‌ها Electrolyte leakage	محتوای نسبی آب برگ RWC	تعداد روزها تا گلدهی Days to flowering	تعداد روز از گلدهی تا میوه‌دهی Days from flowering to fruit set	تعداد میوه سبز Green Fruit numbers	عملکرد Yield	وزن میوه Fruit size	تعداد میوه رسیده Ripe Fruit numbers	تعداد کل میوه Total Fruit numbers
تکرار Replication	3	34.6	8.9	1.5	2.1	10.5	4.2	76.9	13.1	61.1	10.0	4.6	17.1
زمان مصرف Time of application (A)	2	1802.9**	20.5**	10.01ns	17.8ns	100.5ns	43.7 *	1001.1*	91.7*	15.1ns	11.5 ns	31.4**	33.7 *
مقدار مصرف Rate of application (B)	2	900.6*	34.7*	98.3*	12.3ns	203.16ns	6.5 ns	914.6*	197.6*	613.6*	17.6 *	101.3 *	17.4 *
اثرات متقابل A×B	4	187.8*	32.0**	28.9*	11.08ns	74.5ns	9.0 *	121.5*	122.0*	188.5*	19.5 *	10.2 *	5.6 *
خطا Error	24	12.2	4.3	6.4	8.1	61.9	3.5	20.1	21.1	44.3	7	4.5	1.8
ضریب تبیین CV (%)	-	17.5	18.8	20.3	19.9	17.0	18.9	23.1	18	24.5	15.9	28.4	23.5

**، * و ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطح ۱ و ۵ درصد و اختلاف غیر معنی‌دار

*,** & ns means significant difference at 5 and non-significant, respectively

جدول ۲- اثرات ساده زمان مصرف گلایسین‌بتائین بر صفات فیزیولوژیکی، فنولوژیکی و عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی
Table 2 -Simple effects of time of GB application on some physiological, phenological traits and yield components of tomato

زمان مصرف Time of application	سطح برگ در بوته (سانتی‌متر مربع) Leaf area (cm^2)	طول مدت کاشت تا گلدهی (روز) Days from sowing to flowering (day)	طول مدت از گلدهی تا رسیدگی میوه (روز) Days from flowering to fruit ripening (day)	وزن خشک کل (گرم در متر مربع) Dry weight ($g.m^{-2}$)	تعداد میوه رسیده (عدد در بوته) Ripe Fruit number (No $plant^{-1}$)	تعداد میوه نارس (عدد در بوته) Green fruit number (No $plant^{-1}$)	تعداد کل میوه (عدد در بوته) Total Fruit (No $plant^{-1}$)
کاشت Sowing	1464.3 ^{a}	31.8^{a}	30.4^{a}	1211.5^{a}	23.1 ^{a}	13.7 ^{a}	36.9 ^{a}
گلدهی Flowering	1216.0 ^{b}	25.1 ^{b}	25.6^{b}	1083.0^{b}	19.6 ^{b}	12.7 ^{a}	32.3 ^{b}
میوه‌دهی Fruit set	1225.3 ^{b}	25.0 ^{b}	25.2^{b}	1151.8^{a}	21.2 ^{ab}	10. 3 ^{b}	31.5 ^{b}

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.
Common letters in each column means no meaningful difference at $p \leq 0.05$

جدول ۳- اثرات ساده مقدار مصرف گلایسین‌بتائین بر برخی خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گوجه‌فرنگی
Table 3- Simple effects of Rate of GB application on some physiological, phenological of tomato

مقدار مصرف Rate of Application	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) Leaf Area (cm^2)	عدد اسپد (عدد) SPAD number (No)	وزن خشک (گرم در مترمربع) Dry weight (gm^{-2})	طول مدت گلدهی تا رسیدگی میوه (روز) Days from flowering to fruit ripening(day)	عملکرد (تن در هکتار) Yield ($tonha^{-1}$)	وزن میوه (گرم) Fruit Weight (g)	تعداد میوه رسیده (عدد در بوته) Ripe Fruit number (No $plant^{-1}$)	تعداد میوه نارس (عدد در بوته) Green fruit number (No $plant^{-1}$)	تعداد کل میوه (عدد در بوته) Total Fruit (No $plant^{-1}$)
صفر کیلوگرم در هکتار 0 $kg.ha^{-1}$	1298.7 ^{b}	40.3 ^{c}	1161.6 ^{a}	19.6 ^{c}	74.7^{a}	113.1 ^{a}	28.2 ^{a}	8.4 ^{c}	36.6 ^{a}
سه کیلوگرم در هکتار 3 $kg.ha^{-1}$	1370.7^{a}	45.3 ^{a}	1206.7^{a}	24.3 ^{b}	63.5 ^{b}	95.5 ^{a}	20.3 ^{b}	16.2 ^{a}	36.5 ^{a}
شش کیلوگرم در هکتار 6 $kg.ha^{-1}$	1236.3^{b}	42.3 ^{b}	1077.8 ^{b}	29.6 ^{a}	52.3 ^{c}	88.5 ^{b}	15.4 ^{c}	12.2 ^{b}	27.6 ^{b}

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.
Common letters in each column means no meaningful difference at $p \leq 0.05$

کاربرد گلایسین‌بتائین وزن میوه را کاهش داد و از این نظر اختلافی بین سه و شش کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین مشاهده نشد. علاوه بر این، افزایش مقدار کاربرد گلایسین‌بتائین بر عملکرد میوه اثر منفی داشت. به‌طوری‌که بیشترین میزان عملکرد در تیمار عدم مصرف گلایسین‌بتائین ۷۴ تن در هکتار مشاهده شد. سه و شش کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین، عملکرد را به‌ترتیب ۱۵ و ۳۰ درصد کاهش داد (جدول ۴). لازم به ذکر است که زمان برداشت بر اساس پیش‌بینی سازمان هواشناسی و پیش از وقوع اولین یخبندان پاییزه و برای کلیه تیمارها به‌صورت هم‌زمان صورت گرفت. با توجه به این که در رقم مورد مطالعه، اتصال میوه به دمگل از استحکام مناسبی برخوردار است بنابراین ریزش میوه رسیده مشاهده نشد. هرچند بسیاری از مطالعات بیانگر اثرات مثبت کاربرد خارجی گلایسین بر روی گیاهان در شرایط تنش می‌باشند، گزارش‌های معدودی نیز وجود دارند که نشان‌دهنده فقدان اثرات مثبت و گاه اثرات منفی کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین بر گیاهان دارند (Ashraf and Foolad, 2007). بررسی اثر کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین بر روی ریشه‌دهی ریز قلمه‌های حاصل از کشت بافت سیب انجام گرفت، نشان داد که در شرایط غیر تنش کاربرد ۰/۱، ۰/۲ یا ۰/۳ مول گلایسین‌بتائین بر روی گیاهچه‌های جدید رشد اندام هوایی را ۳۰ تا ۷۰٪ نسبت به شاهد افزایش می‌دهد، ولی غلظت‌های بالاتر (۰/۵ مول) گلایسین‌بتائین برای گیاه مخرب بود (Uosukainen *et al.*, 2000). در برنج (*Oryza sativa*)، کاربرد یک میلی‌مول گلایسین‌بتائین از طریق محلول غذایی، در بهبود رشد در شرایط تنش شوری اثر داشت ولی بر روی گیاهان شاهد بدون تنش هیچ اثر مثبتی گزارش نشد (Lutts, 2000). مطالعه اثرات گلایسین‌بتائین بر روی گوجه‌فرنگی در شرایط تنش و غیرتنش، نشان داد که حتی در شرایط بدون‌تنش و با گیاهانی که به‌طور ژنتیکی تحریک به تولید گلایسین‌بتائین شده بودند، وزن میوه به‌طور معنی‌داری در حضور گلایسین‌بتائین افزایش داشت (Park*et al.*, 2007)، که با نتایج این تحقیق متفاوت بوده است که ممکن است به دلیل اختلاف در دوز مصرف این ماده باشد. به نظر می‌رسد گیاهانی‌که قابلیت تولید گلایسین‌بتائین را از طریق دست‌کاری ژنتیکی به‌دست می‌آورند، این ماده را در کلروپلاست تجمع می‌دهند و در زمانی‌که کاربرد گلایسین‌بتائین به‌صورت خارجی بوده است در سیتوسول ذخیره می‌شوند (Chen and Murata, 2008). مطالعات مؤید این نکته است که گلایسین‌بتائین ذخیره شده در کلروپلاست بسیار مؤثرتر از مواردی است که در سیتوسول تجمع می‌یابد (Park *et al.*, 2007).

در مورد علت بروز اثرات سمی در نتیجه مصرف گلایسین‌بتائین، یافته‌های دقیقی وجود ندارد، ولی بر اساس تحقیق بر روی گونه‌های غیر تجمع‌دهنده گلایسین‌بتائین در خانواده چلیپائیان، کلزا و اربیدوپسیس، گزارش شد که گلایسین‌بتائین خارجی از طریق اثرات رقابتی گلایسین بر مرحله میتوکندریایی مسیر گلیکولات سبب افزایش تنفس نوری می‌شود (Sulpice *et al.*, 2002). از آنجا که گیاهان خانواده سیب‌زمینی نیز قادر به ساخت و تجمع گلایسین‌بتائین نیستند، ممکن است چنین اثرات سمی در آنها نیز دیده شود.

در بررسی مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلایسین‌بتائین بر عملکرد و اجزای عملکرد گوجه‌فرنگی (جدول ۴) مشخص می‌شود که بیشترین وزن میوه در تیمارهای عدم مصرف اسید آمینه به‌دست آمد و کاربرد سه و شش کیلوگرم گلایسین‌بتائین در کلیه مراحل تأثیر منفی بر اندازه میوه‌ها داشت. علاوه بر این کاربرد شش کیلوگرم گلایسین‌بتائین موجب تعداد میوه رسیده کمتری نیز شد. بیشترین تعداد میوه نارس در تیمار سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین در زمان کاشت دیده شد که اختلاف آماری با مصرف مشابه در زمان گلدهی نداشت. به نظر می‌رسد تیمارهای مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین سبب کاهش میوه‌دهی و تیمارهای سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین موجب کاهش تعداد میوه رسیده شده‌اند. همان طور که پیش از این نیز اشاره شد، در برخی تحقیقات اثرات منفی گلایسین‌بتائین نیز گزارش شده است. هرچند در اغلب موارد این اثرات منفی یا اثرات غیر معنی‌دار، در شرایط بدون تنش بوده و در شرایط تنش اثرات مثبتی از کاربرد گلایسین‌بتائین مشاهده شده است. در پنبه، کاربرد ۱ تا ۵ کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین، چه به‌عنوان پیش‌تیماردهنده بذر و چه به صورت برگی، در شرایط تنش خشکی، در بهبود آسیب‌های ناشی از تنش مفید بوده و عملکرد گیاه را افزایش داد. محلول‌پاشی غلظت‌های مشابه گلایسین‌بتائین (۲ تا ۴ کیلوگرم در هکتار) رشد گیاه و یا عملکرد دانه را در شرایط مزرعه بدون تنش تأثیری نداشت (Meek *et al.*, 2003). در بررسی دیگری بر روی پنبه گزارش شد که کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین پیش از گلدهی، بیشترین تأثیر را بر روی عملکرد داشت ولی غلظت‌های شش کیلوگرم در هکتار سبب کاهش عملکرد نسبت به مقادیر کمتر داشت (Makhdum and Shababuddin, 2006). در تحقیق بر روی سورگوم نتیجه گرفته شد که در تیمارهای عدم تنش، کاربرد گلایسین‌بتائین اثر معنی‌داری بر روی عملکرد و اجزای عملکرد نداشت، ولی در شرایط تنش خشکی و دیر آبیاری توانست عملکرد گیاه را بهبود بخشد (Kadkhodaiee *et al.*, 2016). در بررسی بر روی کرچک اعلام شد گلایسین‌بتائین تنها در شرایط تنش خشکی قادر به افزایش عملکرد بود (Hadi and Kalantar, 2015).

جدول ٤- اثرات متقابل زمان و مقدار مصرف گلایسین‌بتائین برخصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گوجه‌فرنگی

Table 4- Interaction effects of time and rate of GB application on some physiological and phenological traits of tomato

زمان مصرف **Time of application**	مقدار مصرف **Rate of application**	سطح برگ (سانتی‌متر مربع) **Leaf area (cm^2)**	عدد اسپد (عدد) **SPAD (No)**	طول مدت کاشت تا گلدهی (روز) **Days from sowing to flowering (day)**	طول مدت گلدهی تا رسیدگی میوه (روز) **Days from flowering to fruit set (day)**	عملکرد (تن در هکتار) **Yield ($ton.ha^{-1}$)**	وزن میوه (گرم) **Fruit size (g)**	تعداد میوه رسیده (عدد در بوته) **Fruit number ($No\ plant^{-1}$)**	تعداد میوه نارس (عدد در بوته) **Green fruit number ($No\ plant^{-1}$)**	تعداد کل میوه (عدد در بوته) **Total Fruit ($No\ plant^{-1}$)**	وزن خشک (گرم در مترمربع) **Dry Weight ($g.m^{-2}$)**
Sowing کاشت	$0\ kgha^{-1}$ صفر کیلوگرم در هکتار	1340^{b}	41^{b}	27.4^{b}	18.7^{c}	76.1^{a}	118.31^{a}	30.0^{a}	6.9^{d}	36.9^{b}	1268.3^{a}
	$3\ kgha^{-1}$ سه کیلوگرم در هکتار	1653^{a}	45^{a}	34.1^{a}	25.2^{b}	68.9^{b}	102.50^{a}	23.5^{ab}	19.0^{a}	42.5^{a}	1252.7^{a}
	$6kgha^{-1}$ شش کیلوگرم در هکتار	1400^{b}	43^{ab}	33.8^{a}	28.1^{b}	50.1^{d}	94.60^{ab}	15.8^{bc}	15.3^{ab}	31.1^{c}	1113.3^{b}
Flowering گلدهی	$0\ kgha^{-1}$ صفر کیلوگرم در هکتار	1269^{bc}	41^{b}	26.1^{b}	20^{c}	73.2^{a}	111.00^{a}	27.0^{a}	7.1^{d}	34.1^{bc}	1143.7^{b}
	$3\ kgha^{-1}$ سه کیلوگرم در هکتار	1270^{bc}	45^{a}	25.1^{b}	28.6^{b}	60.1^{c}	90.42^{b}	18.1^{b}	18.6^{a}	36.7^{b}	1133.6^{b}
	$6kgha^{-1}$ شش کیلوگرم در هکتار	1109^{c}	42^{ab}	24.1^{b}	42^{a}	50.5^{d}	80.7^{b}	13.5^{c}	12.3^{bc}	25.8^{d}	971.5^{c}
Fruit set میوه‌دهی	$0\ kgha^{-1}$ صفر کیلوگرم در هکتار	1287^{bc}	39^{b}	25.1^{b}	20.2^{c}	74.9^{a}	110.09^{a}	27.4^{a}	11.1^{c}	38.5^{b}	1208.6^{a}
	$3\ kgha^{-1}$ سه کیلوگرم در هکتار	1189^{c}	46^{a}	26.9^{b}	19^{c}	61.5^{c}	93.60^{b}	19.1^{b}	11.0^{c}	30.1^{cd}	1098.2^{bc}
	$6kgha^{-1}$ شش کیلوگرم در هکتار	1200^{bc}	42^{ab}	23.1^{b}	18.7^{c}	56.3^{cd}	90.10^{b}	16.9^{bc}	8.9^{cd}	25.8^{d}	1148.9^{b}

حروف مشترک در هر ستون به معنی عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

Common letters in each column means no meaningful difference at $p\leq 0.05$

اثرات منفی گلایسین‌بتائین بر عملکرد میوه از طریق تأثیر منفی کاربرد آن هم بر روی وزن و هم تعداد میوه رخ داد. اما با بررسی نتایج به نظر می‌رسد که تأخیر بر روی رسیدگی میوه و کاهش تعداد میوه‌های رسیده، عامل اصلی این کاهش عملکرد بوده است. بیشترین تعداد کل میوه در تیمار کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین در زمان کاشت دیده می‌شود (۴۲/۵ عدد) که از این مقدار میوه، ۵۵٪ آن رسیده و باقی آن در زمان برداشت سبز بودند. با احتساب تراکم کشت شده (۳۰ هزار بوته در مترمربع) و وزن متوسط میوه‌ها در این تیمار (۱۰۲/۵گرم)، در صورتی‌که درصد میوه‌های رسیده به ۸۰ درصد می‌رسید، عملکردی در حدود ۱۰۴ تن در هکتار قابل حصول بود که از بیشترین عملکرد برداشت شده در این آزمایش؛ عدم مصرف گلایسین‌بتائین (۷۶/۱ تن در هکتار)؛ ۲۵٪ بیشتر است. کمترین تعداد کل میوه نیز در تیمار مصرف شش کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین در زمان میوه‌دهی ۲۵/۸ ثبت گردید (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

این آزمایش به‌منظور بررسی اثرات کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین بر عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط بدون تنش انجام شد. با وجود آن‌که بسیاری از تحقیقات بر وجود اثرات مثبت کاربرد خارجی گلایسین‌بتائین بر عملکرد گیاهان تحت تنش‌های خشکی و شوری تأکید دارند، اما نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر نشان‌دهنده اثرات منفی این ماده، خصوصاً در غلظت‌های بالا، بر روی عملکرد گوجه‌فرنگی در شرایط بدون تنش بود. این اثرات منفی بیشتر از طریق کاهش تعداد میوه رسیده و افزایش طول مدت رسیدگی میوه بر روی عملکرد اثرگزار بودند. به نظر می‌رسد در صورتی‌که فصل رشد طولانی‌تری در اختیار باشد، ممکن است کاربرد سه کیلوگرم در هکتار گلایسین‌بتائین سبب افزایش عملکرد شود.

سپاسگزاری

نگارندگان از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان که هزینه‌های اجرای طرح پژوهشی را تقبل نموده‌اند، کمال تشکر را دارند.

References

1. Ashraf, M., and Foolad, M. 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany 59: 206-216.
2. Cerdán, M., Sánchez-Sánchez, A., Oliver, M., Juárez, M., and Sánchez-Andreu, J., 2008. Effect of foliar and root applications of amino acids on iron uptake by tomato plants. In "IV Balkan Symposium on Vegetables and Potatoes" 830: 481-488.
3. Chen, T. H., and Murata, N. 2008. Glycinebetaine: an effective protectant against abiotic stress in plants. Trends in plant science 13 (9): 499-505.
4. Dakora, F. D., and Phillips, D. A. 2002. Root exudates as mediators of mineral acquisition in low-nutrient environments. Plant and Soil 245 (1): 35-47 .
5. de la Torre-González, A., Albacete, A., Sánchez, E., Blasco, B., and Ruiz, J. M. 2017. Comparative study of the toxic effect of salinity in different genotypes of tomato plants: Carboxylates metabolism. Scientia Horticulturae 217 (3): 173-178.
6. Foolad, M. R. 2000. Genetic bases of salt tolerance and cold tolerance in tomato. Currents in Top of Plant Biology. 2 (1): 35-49.
7. Hsieh, T. H., Lee, J. T., Yang, P. T., Chiu, L. H., Charng, Y. Y., Wang, Y. C., and Chan, M. T. 2002. Heterology expression of the Arabidopsis C-repeat/dehydration response element binding Factor 1 gene confers elevated tolerance to chilling and oxidative stresses in transgenic tomato. Plant physiology 129 (3): 1086-1094.
8. Ge, T., Song, S., Roberts, P., Jones, D., Huang, D., and Iwasaki, K. 2009. Amino acids as a nitrogen source for tomato seedlings: The use of dual-labeled (13C, 15N) glycine to test for direct uptake by tomato seedlings. Environmental and Experimental Botany 66 (3): 357-361.
9. Hadi, H., and Kalantar, A. 2015. Effect of mycorhizal symbiosis, application of super absorbant gel, glycine-betain and sugar beet extract on physiological traits and seed yield of castor bean (*Ricinus communis* L.) in drought stress conditions. Iranian Journal of Crop Sciences 17 (3): 236-250. (in Persian with English abstract).

10. Kadkhodaei, H., Sodaeizadeh, H., Mosleh Arany, A., and Hakim Zadeh, M. A. 2016. The role of glycine betain in increasing drought resistance of Sorghum halopens under field condition. Environmental Stresses in Crop Sciences 9 (2): 139-147. (in Persian with English abstract).
11. Klee, H. J. 1993. Ripening physiology of fruit from transgenic tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants with reduced ethylene synthesis. Plant Physiology 102 (3): 911-916.
12. Liu, X. Q., Ko, K. Y., Kim, S. H., and Lee, K. S. 2007. Effect of amino acid fertilization on nitrate assimilation of leafy radish and soil chemical properties in high nitrate soil. Communications in soil science and plant analysis 39 (1): 269-281.
13. Lutts, S. 2000. Exogenous glycinebetaine reduces sodium accumulation in salt-stressed rice plants. International Rice Research Notes. 25 (2): 340-349.
14. Mäkelä, P., Munns, R., Colmer, T., Condon, A., and Peltonen-Sainio, P. 1998. Effect of foliar applications of glycinebetaine on stomatal conductance, abscisic acid and solute concentrations in leaves of salt-or drought-stressed tomato. Functional Plant Biology 25 (6): 655-663.
15. Mäkelä, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setälä, H., Hinkkanen, R., and Somersalo, S. 1996. Uptake and translocation of foliar-applied glycinebetaine in crop plants. Plant science 121 (2): 221-230.
16. Makhdum, I., and Shababuddin, M. 2006. Effect of different doses of glycine betaine and time of spray application on yield of cotton (*Gossypium Hirsutum* L.). Journal of Research (Science) 17(4): 241-245.
17. Meek, C., Oosterhuis, D., and Gorham, J. 2003. Does Foliar-applied Glycine Betaine Affect Endogenous Betaine Levels and Yield In Cotton? Crop Management 2 (1): 18-28.
18. Miri, H. R., and Zamani Moghadam, A. 2015. The effect of external usage of glycine betaine on corn (*Zea mays* L.) in drought condition. Iranian Journal of Field Crop Research 12 (4): 704- 717. (in Persian).
19. Mohammadzamani, M., Rabeei, V., and Nejatian, M. 2012 .Effect of proline and glycine betaine application on some physiological characteristics in Grapevine under drought stress. Iranian Journal of Horticultural Science. 43 (4): 393- 401. (in Persian).
20. Moosavifar, B., Behdani, M., Jami Alahmadi, M. J., and Bojd, M. H. 2012. Changes of Chlorophyll Index (SPAD), Relative Water Content, Electrolyte Leakage and Seed Yield in Spring Safflower Genotypes under Irrigation Termination. Iranian Journal of Field Crops Research 9 (3): 525-534. (in Persian).
21. Murata, N., Mohanty, P., Hayashi, H., and Papageorgiou, G. 1992. Glycinebetaine stabilizes the association of extrinsic proteins with the photosynthetic oxygen-evolving complex. FEBS letters 296 (2): 187-189.
22. Ortiz-Lopez, A., Chang, H. C., and Bush, D. 2000. Amino acid transporters in plants. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes 1465 (1): 275-280.
23. Park, E. J., Jeknić, Z., Chen, T. H., and Murata, N. 2007. The codA transgene for glycinebetaine synthesis increases the size of flowers and fruits in tomato. Plant biotechnology journal 5 (3): 422-430.
24. Park, E. J., Jeknic, Z., Pino, M. T., Murata, N., and Chen, T. H. 2007. Glycinebetaine accumulation is more effective in chloroplasts than in the cytosol for protecting transgenic tomato plants against abiotic stress. Plant, cell & environment 30 (8): 994-1005.
25. Park, E. J., Jeknic, Z., and Chen, T. H. 2006. Exogenous application of glycinebetaine increases chilling tolerance in tomato plants. Plant and cell physiology 47 (6): 706-714.
26. Park, E. J., Jeknić, Z., Sakamoto, A., DeNoma, J., Yuwansiri, R., Murata, N., and Chen, T. H. H. 2004. Genetic engineering of glycinebetaine synthesis in tomato protects seeds, plants, and flowers from chilling damage. The Plant Journal 40 (4): 474-487.
27. Somersalo, S., Kyei-Boahen, S., and Pehu, E. 1996. Exogenous glycine betaine application as a possibility to increase low temperature tolerance of crop plants. Nordisk Jordbruksforskning 78 (2): 102-120.
28. Subbarao, G., Levine, L. H., Stutte, G. W., and Wheeler, R. M. 2001. Glycinebetaine accumulation: its role in stress resistance in crops plants. Handbook of plant and crop physiology. Marcel Dekker, New York, 881-907.
29. Sulpice, R., Gibon, Y., Cornic, G., and Larher, F. R. 2002. Interaction between exogenous glycine betaine and the photorespiratory pathway in canola leaf discs. Physiologia Plantarum 116 (4): 460-467.
30. Teixeira, W. F., Fagan, E. B., Soares, L. H., Umburanas, R. C., Reichardt, K., and Neto, D. D. 2017. Foliar and seed application of amino acids affects the antioxidant metabolism of the soybean crop. Frontiers in plant science 8: 1-14.
31. Uosukainen, M., Rantala, S., Manninen, A., and Vestberg, M. 1999. Improvement of microplant establishment through in vitro and ex vitro exogenous chemical applications. In "International Symposium on Methods and Markers for Quality Assurance in Micropropagation 530", pp. 325-332.
32. Yancey, P. H. 1994. Compatible and counteracting solutes. Cellular and molecular physiology of cell volume regulation. 81-109 .
33. Yang, X., and Lu, C. 2005. Photosynthesis is improved by exogenous glycinebetaine in salt-stressed maize plants. Physiologia Plantarum 124 (3): 343-352.

34. Zhou, Y., Wen, Z., Zhang, J., Chen, X., Cui, J., Xu, W., and Liu, H. Y. 2017. Exogenous glutathione alleviates salt-induced oxidative stress in tomato seedlings by regulating glutathione metabolism, redox status, and the antioxidant system. Scientia Horticulture 220 (1): 90-101.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 3, Fall. 2018, p. 683-696

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۷، ص. ۶۹۶-۶۸۳

Effect of Exogenous Glycine Betaine Application on Physiological and Phenological Traits and Yield of Tomato (*Solanum lycopersicum*) in Non-stress Condition

M. Tatari[1*]- R. Abbasi Alikamar[2]
Received: 22-02-2018
Accepted: 15-04-2018

Introduction

Glycine Betaine has potential impacts on enhancing the tolerance of plants against various environmental abiotic stresses. There are two methods of increasing Glycine Betaine level in plants in which Glycine Betaine does not accumulate naturally, the exogenous application of Glycine Betaine and the introduction of GB-biosynthetic pathway into plants, via transgenes. When Glycine Betaine is applied to the leaves of tomato plants, most of the Glycine Betaine that is taken up by the leaves is localized in the cytosol which is significantly reduced adverse effects of abiotic stresses (Park *et al.*, 2006). Even in non-stress conditions, there are several environmental factors (water scarcity between irrigation times, soil salinity, mid-day heat, etc.) that can affect the plant yield. This study tried to find the effectiveness of exogenous application of Glycine Betaine on tomato plant in non-stress condition.

Materials and Methods

The experimental was conducted in 2015 as the randomized complete block design based on factorial with four replications. Treatments included three levels of Glycine Betaine application level (0, 3, 6 $kg.ha^{-1}$) and three times of application including planting, floral initiation and fruit set. 0, 3 and 6 $kgha^{-1}$ Glycine Betaine applied with 200 $lit.ha^{-1}$ water and applied with back sprayer. The experimental field was located 10 km southeast of Mashhad. Irrigation with 6-day interval was done to represent non-stress condition. Electrolyte leakage, SPAD number and Relative Water Content (RWC) were measured. Dry matter, leaf area, days from planting to flowering, days from flowering to fruit set, total fruit numbers, ripe fruit numbers, green fruit numbers, average fruit size, and total yield were determined during the study. Harvest time was determined by meteorological forecast and before the first freezing stress in fall. The data were analyzed by SAS software and the means were compared by Duncan.

Results and Discussion

Results showed that the times of application had significant effects on some measured parameters. Glycine Betaine application at planting stage led to increasing vegetative stage and delayed flowering time for 6 days. The highest leaf area (1464.4 cm^2) was also obtained from the same application. Different times of Glycine Betaine application had no significant effects on total yield. However, using at planting time resulted in higher green/total fruit ratio. Evaluation the rate of Glycine Betaine application showed that the highest leaf area (1370 cm^2) and the highest dry matter (1206 $g.ha^{-1}$) were obtained from 3 $kg.ha^{-1}$ application rate. Treatments without GB application resulted in the highest yield (74.7 ton. ha^{-1}), but increasing the rate from 0 to 3 $kg.ha^{-1}$, led to 94% increasing in green fruit numbers (8.4 to 16.2 respectively).

Conclusions

Exogenous application of Glycine Betaine showed different effects on tomato plants due to time and rate of application. The highest yield was obtained from control treatment (no application) (74 ton ha^{-1}) and 3 and 6 $kg.ha^{-1}$ applications, decreased yield 15 and 30 percent, respectively. However, the vegetative stage was lengthened and the numbers of green fruits was increased by 3 $kg.ha^{-1}$ rate. It seems that if the growing season

1- Ph.D. in crop physiology, Assistant Professor, Islamic Azad University, Shirvan branch, Iran
2- Ph.D. of Agroecology, Lecturer, Islamic Azad University, Shirvan Branch, Iran
(*- Corresponding Author Email: maryamtatari@yahoo.com)

was extended, and enough time was provided to fruit ripening, total yield could be increased by low concentration of Glysine Betaine application up to 25% compared to control. But high rate of Glycine Betaine may cause toxic effects on tomato and reduce the yield.

Keywords: Amino acid, Electrolyte leakage, Relative Water Content, Toxic effects